МЕХАНИКА
MECHANICS



УДК 691.328 https://doi.org/10.23947/2687-1653-2021-21-1-5-13

Исследования физико-механических и конструктивных характеристик вибрированных, центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов



Л. Р. Маилян[1], С. А. Стельмах[1], Е. М. Щербань[1], Ю. В. Жеребцов[1], М. М. Аль-Тулаихи[2]
[1]ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)
[2]Министерство высшего образования и научных исследований (г. Багдад, Ирак)

Введение. В настоящее время остро стоит проблема получения облегченных бетонных и железобетонных изделий и конструкций с улучшенными структурой и характеристиками. Этого можно добиться центрифугированием или более совершенным способом — виброцентрифугированием. В то же время влияние центробежных и центростремительных сил инерции в данных видах технологий приводит к различиям свойств по сечению бетонных изделий и конструкций. Чтобы отразить это в расчетах, необходимо экспериментально и аналитически исследовать качественную и количественную картины таких различий в характеристиках бетонов, полученных по разным технологиям.
Материалы и методы. В исследовании применялись усредненные по сечению характеристики бетона — «интегральные характеристики бетона». Применяемые сырьевые материалы: портландцемент марки 500, щебень фракции 5–20, песок средний. Было изготовлено и испытано девять контрольных образцов кольцевого сечения, полученных вибрированием, центрифугированием и виброцентрифугированием. Суть методики заключалась в том, что каждый изготовленный экспериментальный контрольный образец использовался сразу в нескольких видах испытаний. Из общего кольцевого сечения каждого образца выделялось по три условных квадранта из которых выпиливались стандартные образцы малого размера. Впоследствии их испытывали на осевое сжатие, растяжение, а также растяжение при изгибе. Применялось следующее испытательное оборудование: механический пресс с электронным управлением ИПС-10 — для испытания призм на сжатие и разрывная машина Р-10 — для испытания образцов на осевое растяжение. Для измерения деформаций бетона применялись тензодатчики и индикаторы часового типа. Для получения деформативных и прочностных свойств бетона, в том числе полных диаграмм деформирования с нисходящими ветвями, применялись также осциллографы.
Результаты исследования. Проанализированы результаты расчета интегральных конструктивных характеристик бетонов, полученных вибрированием, центрифугированием и виброцентрифугированием. Установлено, что вследствие влияния центробежных и центростремительных сил инерции при центрифугировании и виброцентрифугировании характеристики бетона по сечению становятся различными. В ряде случаев различия эти могут быть весьма значительными. Разработаны и апробированы: новая методика оценки зависимости интегральных (усредненных по сечению) конструктивных характеристик бетона (плотность, кубиковая и призменная прочности на осевое сжатие); предельные деформации при осевом сжатии; прочность на осевое растяжение и растяжение при изгибе; предельные деформации при осевом растяжении; модуль упругости; диаграмма «напряжения σ_b–деформации ε_b» при сжатии; диаграмма «напряжения σ_{bt}–деформации ε_{bt}» при растяжении от технологии изготовления (вибрирование, центрифугирование, виброцентрифугирование).
Обсуждение и заключения. По результатам исследований сформулированы выводы о положительном эффекте предложенной технологии совместного вибрирования и центрифугирования, заключающемся в улучшении интегральных конструктивных характеристик и структуры бетона от вибрирования к центрифугированию и от центрифугирования к виброцентрифугированию.

Ключевые слова: вибрирование, центрифугирование виброцентрифугирование, расчет колонн, вариатропная структура, интегральные характеристики бетона, предельные деформации, прочность на сжатие, модуль упругости.

Для цитирования: Исследования физико-механических и конструктивных характеристик вибрированных, центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов / Л. Р. Маилян, С. А. Стельмах, Е. М. Щербань [и др.] // Advanced Engineering Research. — 2021. — Т. 21, № 1. — С. 5–13. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2021-21-1-5-13



Research of physicomechanical and design characteristics of vibrated, centrifuged and vibro-centrifuged concretes

L. R. Mailyan[1], S. A. Stel'makh[1], E. M. Shcherban'[1], Yu. V. Zherebtsov[1], M. M. Al-Tulaikhi[2]
[1]Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)
[2] Ministry of Higher Education & Scientific Research (Baghdad, Iraq)

Introduction. Currently, the obtaining of lightweight concrete and reinforced concrete products and structures with the improved structure and characteristics is a challenge. This can be achieved through centrifugation or in a more advanced way — vibro-centrifugation. At the same time, the influence of centrifugal and centripetal forces of inertia in these types of technologies causes differences in the cross-section properties of concrete products and structures. To reflect this in the calculations, it is required to experimentally and analytically investigate the qualitative and quantitative patterns of such differences in the characteristics of concretes obtained through different technologies.
Materials and Methods. The study used the cross-section averaged characteristics of concrete — “integral characteristics of concrete”. The applicable raw materials included portland cement 500, crushed stone fraction 5-20, medium sand. Nine control samples of annular cross-section obtained through vibrating, centrifuging, and vibro-centrifugation were manufactured and tested. The essence of the technique was that each manufactured experimental control sample was used in several types of tests in-parallel. From the total annular section of each sample, three conditional quadrants were distinguished, from which standard samples of small size were cut out. Subsequently, they were tested for axial compression, tension, and flexural tension. The following test equipment was used: electronically controlled mechanical press IPS-10 — for compression testing of prisms, and the breaking machine R-10 — for testing samples for axial tension. Strain sensors and dial indicators were used to measure concrete deformations. Oscilloscopes were also used to obtain the deformative and strength properties of concrete, including full deformation diagrams with descending branches.
Results. We have analyzed the calculation results of the integral design characteristics of the concretes obtained through vibration, centrifugation and vibro-centrifugation. It is established that due to the influence of centrifugal and centripetal forces of inertia under centrifugation and vibration centrifugation, the characteristics of concrete in cross-section become different. In some cases, these differences can be very significant. We have developed and tested the following: a new method for evaluating the dependence of the integral (cross–section averaged) design characteristics of concrete (density, cubic and prismatic axial compressive strength); ultimate deformations under axial compression; axial tensile and flexural tensile strength; ultimate deformations under axial tension; elasticity modulus; diagram of “stress σ_b–strain ε_b” under compression; diagram of “stress σ_{bt}–strain ε_{bt}” under tension on the manufacturing technology (vibrating, centrifuging, vibration centrifugation).
Discussion and Conclusions. Based on the results of the research, conclusions are formulated on the positive effect of the proposed technology of joint vibrating and centrifuging. It consists in improving the integral design characteristics and structure of concrete from vibrating to centrifuging and from centrifuging to vibro-centrifuging.

Keywords*:* vibrating, centrifugation, vibro-centrifugation, column calculation, variatropic structure, integral characteristics of concrete, ultimate deformations, compressive strength, elasticity modulus.

For citation: L. R. Mailyan, S. A. Stel'makh, E. M. Shcherban', et al. Researches of physicomechanical and design characteristics of vibrated, centrifuged and vibro-centrifuged concretes. Advanced Engineering Research, 2021, vol. 21, no. 1. — p. 5–13. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2021-21-1-5-13

Введение. Известно, что получить бетоны с улучшенными структурой и характеристиками, при сравнении с теми, которые получаются центрифугированием и вибрированием, можно путем виброцентрифугирования[1,2,3] [1–11].

Однако в немногочисленных работах по бетонным и железобетонным конструкциям кольцевого сечения исследовалось влияние вида технологии на усредненные (общие) по сечению характеристики бетона [12–15]. В то же время очевидно, что вследствие влияния центробежных и центростремительных сил инерции при центрифугировании и виброцентрифугировании характеристики бетона по сечению становятся различными [16].

В настоящей работе экспериментально и аналитически исследуются качественная и количественная картины таких различий в характеристиках бетонов, полученных по разным технологиям. Очевидно, что для расчетного учета этих различий понадобится ввести некие усредненные характеристики по сечению элементов. Введем с этой целью термин «интегральные характеристики бетона».

Материалы и методы. Всего произведено и испытано девять контрольных образцов кольцевого сечения, изготовленных вибрированием, центрифугированием и виброцентрифугированием. Размеры данных образцов: внешний диаметр D — 450 мм, внутренний диаметр d — 150 мм; общая высота H — 1200 мм.

Применяемое оборудование и методы испытаний описаны в [8–11].

В качестве заполнителя применялся щебень фракции 5–20, что приближает свойства получаемого бетона к свойствам мелкозернистого бетона.

В экспериментах варьировался вид технологии изготовления, что зафиксировано в обозначениях образцов: вибрирование — В, центрифугирование — Ц, виброцентрифугирование — ВЦ.

Рассматривалась задача оценки зависимости интегральных (усредненных по сечению) конструктивных характеристик бетона (плотность, прочность на осевое сжатие (кубиковая и призменная); предельные деформации при осевом сжатии; прочность на осевое растяжение и растяжение при изгибе; предельные деформации при осевом растяжении; модуль упругости; диаграмма «напряжения σ_b–деформации ε_b» при сжатии; диаграмма «напряжения σ_{bt}–деформации ε_{bt}» при растяжении) от технологии изготовления (вибрирование, центрифугирование, виброцентрифугирование).

Результаты исследования. Методика испытаний отличалась тем, что каждый изготовленный экспериментальный контрольный образец использовался сразу в нескольких видах испытаний. Контрольные образцы в единичном экземпляре были отобраны и испытаны на 7, 28 и 180 сутки.

Из общего кольцевого сечения каждого образца выделялось по 3 условных квадранта *А*, *В и С*, из которых выпиливались образцы малого размера. Впоследствии их испытывали на осевое сжатие, растяжение, а также растяжение при изгибе (рис. 1, 2).

Четыре образца-куба с ребром 15 см выпиливались из квадранта А для проведения испытаний на сжатие и растяжение (уровни № 1–4), одна призма (15×15×60 см) — для проведения испытаний на растяжение при изгибе (уровень № 5). Для проведения испытаний на осевое сжатие две призмы (15×15×60 см) выпиливались из квадранта *В* (уровни № 1–2). Далее три призмы (15×15×60 см) выпиливали из квадранта С для проведения испытаний на осевое растяжение (уровни № 1–2).

После испытания кубиков на осевое сжатие получены значения $R_{b,cub}$, призм на осевое сжатие — значения R_b, ε_{bR}, R_{bt}, ε_{btR}, E_b=E_{bt} и диаграммы деформирования «σ_b–ε_b», а после испытаний призм на осевое растяжение — значения R_{bt} и диаграммы деформирования «σ_{bt}–ε_{bt}» и после испытания призм на растяжение при изгибе — значения R_{btb}.

[1] Аксомитас, Г. А. Прочность коротких центрифугированных колонн кольцевого сечения с продольной арматурой класса Ат-V при кратковременном сжатии : дис. … канд. техн. наук / Г. А. Аксомитас. Вильнюс : ВИСИ, 1984. 261 с.
[2] Петров, В. П. Технология и свойства центрифугированного бетона с комбинированным заполнителем для стоек опор контактной сети: дис. … канд. техн. наук / В. П. Петров. Ростов-на-Дону : РИСИ, 1983. 175 с.
[3] Раджан Сувал. Свойства центрифугированного бетона и совершенствование проектирования центрифугированных железобетонных стоек опор ЛЭП: дис. … канд. техн. наук / Сувал Раджан. Ростов-на-Дону : РГАС, 1997. 267 с.

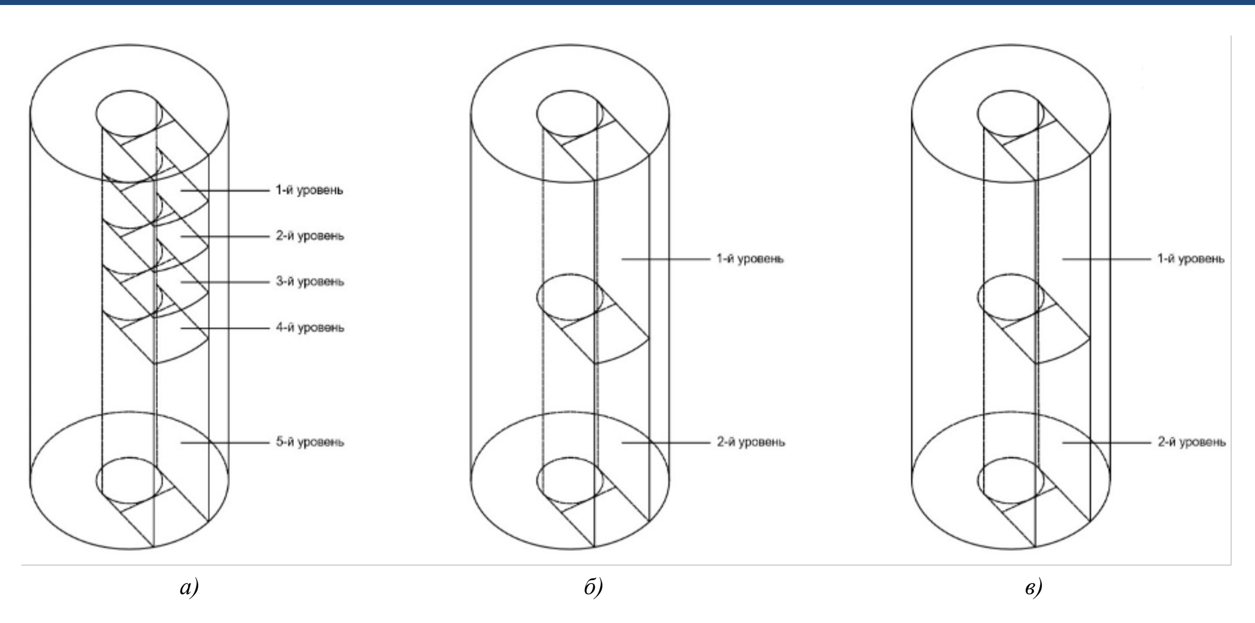


Рис. 1. Схема изготовления образцов бетона малого размера из квадрантов по высоте экспериментальных контрольных полноразмерных образцов кольцевого сечения для расчета интегральных характеристик: *а* — квадрант *A*; *б* — квадрант *B*; *в* — квадрант *C*

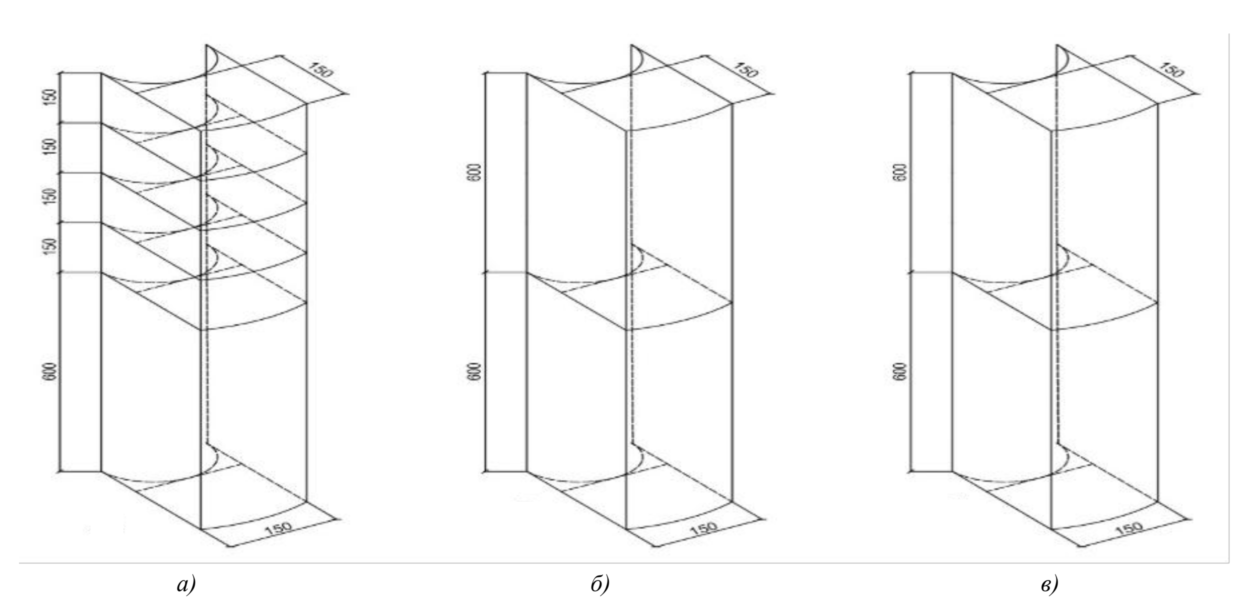


Рис. 2. Опытные образцы бетона малого размера из квадрантов *A*, *B*, *C* экспериментальных контрольных полноразмерных образцов кольцевого сечения для анализа интегральных конструктивных характеристик *а* — квадрант А; *б* —квадрант В; *в* —квадрант С

Использовалась методика испытаний по ГОСТ 10 180. Применялось следующее испытательное оборудование: ИПС-10 — для испытания призм на сжатие и Р-10 — для испытания образцов на осевое растяжение.

Для измерения деформаций бетона применялись тензодатчики с базой измерения 50 мм и индикаторы часового типа с ценой деления 0,001 мм.

Для получения деформативных и прочностных свойств бетона, в том числе полных диаграмм деформирования с нисходящими ветвями, эксперименты проводили, используя постоянную скорость деформирования.

С этой целью, кроме тензометрических датчиков, применялись также осциллографы.

Для испытаний с одной и той же скоростью подачи нагрузки был выбран шаг нагружения $0{,}1R$, а деформации призм повышались с шагом $0{,}1\varepsilon_R$ (рис. 3).

σ σ
σ_R σ_R
ε ε
ε_R ε_R

а) *б)*

Рис. 3. Режимы испытаний опытных малоразмерных образцов:
а — поэтапно, с постоянной скоростью нагружения (Δσ=const);
б — поэтапно, с постоянной скоростью деформирования (Δε=const)

Заключительный режим испытаний состоял в возрастании нагрузки до максимума и последующем ее снижении в процессе увеличения деформации. Таким образом во время испытаний фиксировалась нисходящая ветвь диаграмм «σ – ε» бетона, имеющая довольно четкое очертание примерно до значения $\sigma = 0{,}8R$ как при сжатии, так и при растяжении. Впоследствии зависимость приобретала весьма неустойчивый характер.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать выводы о влиянии технологии изготовления образцов. Результаты экспериментальных исследований изменений интегральных характеристик опытных образцов бетона, в зависимости от технологии изготовления, представлены на рис. 4–10.

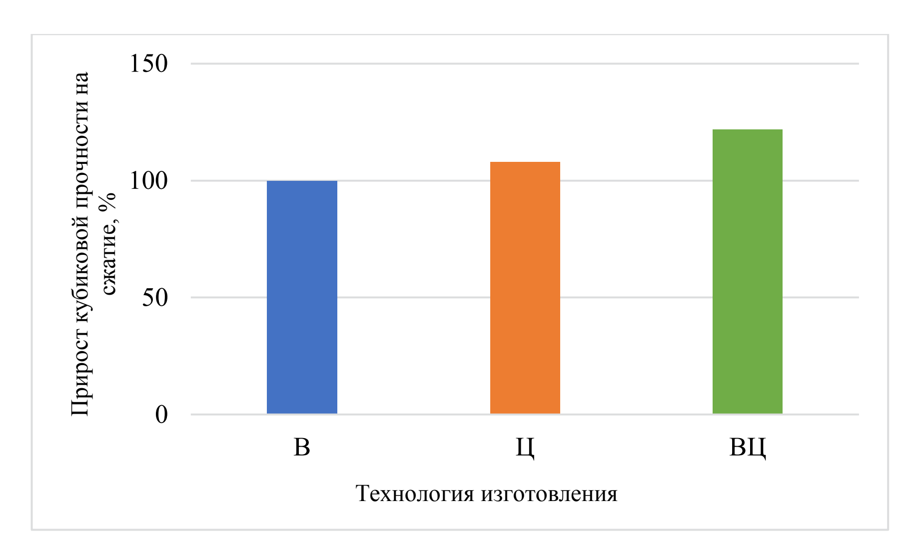


Рис. 4. Влияние технологии изготовления на прирост кубиковой прочности бетона при сжатии

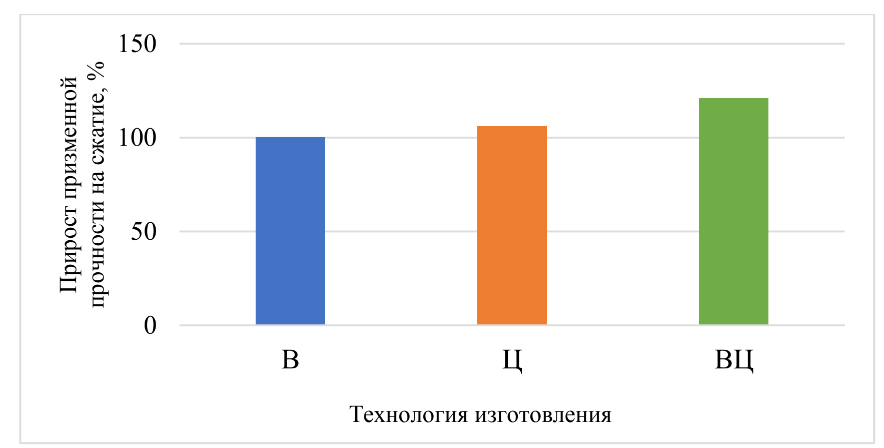


Рис. 5. Влияние технологии изготовления на прирост призменной прочности бетона при осевом сжатии

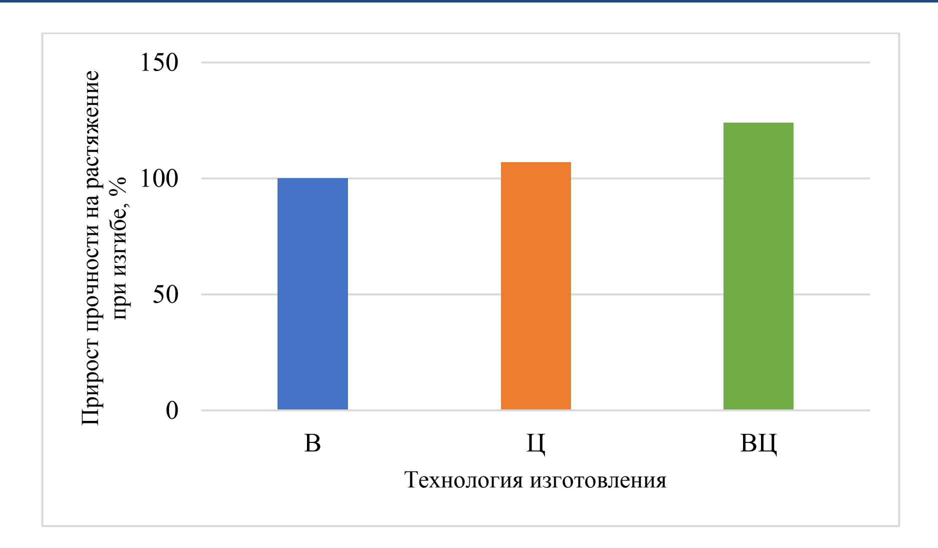


Рис. 6. Зависимость прироста прочности на растяжение при изгибе бетона от технологии изготовления

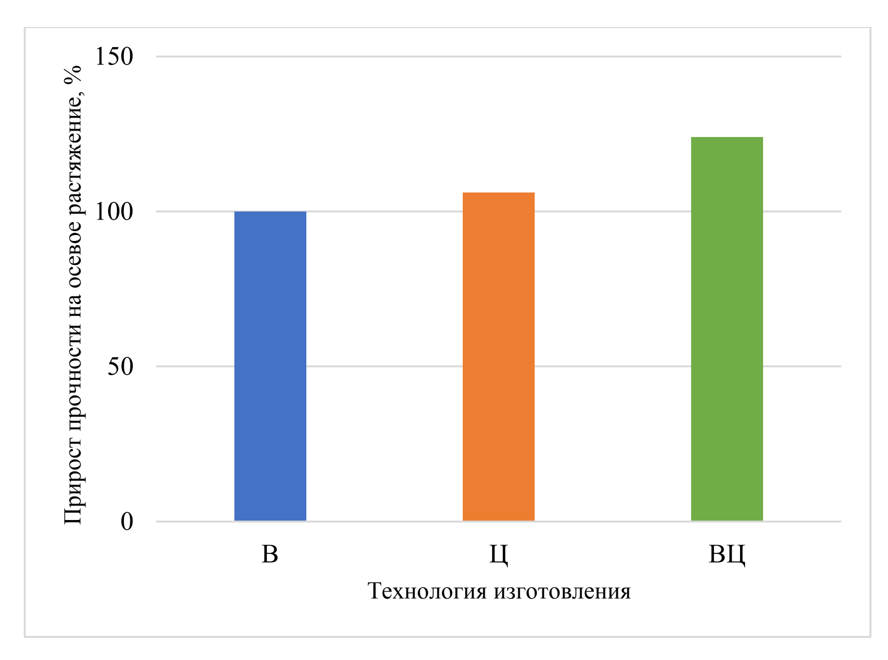


Рис. 7. Зависимость прироста прочности на осевое растяжение бетона от технологии изготовления

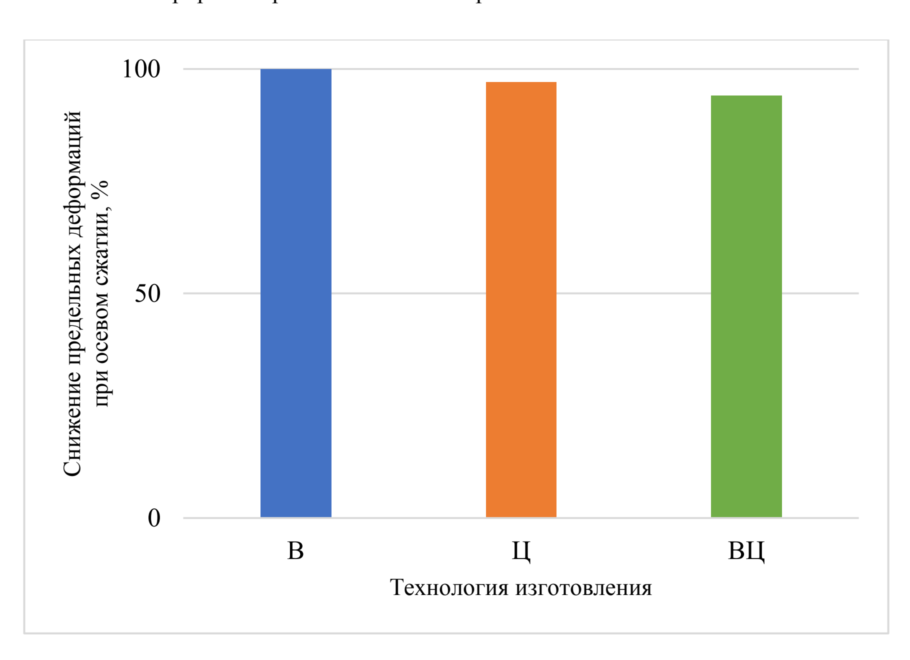


Рис. 8. Зависимость снижения предельных деформаций при осевом сжатии бетона от технологии изготовления

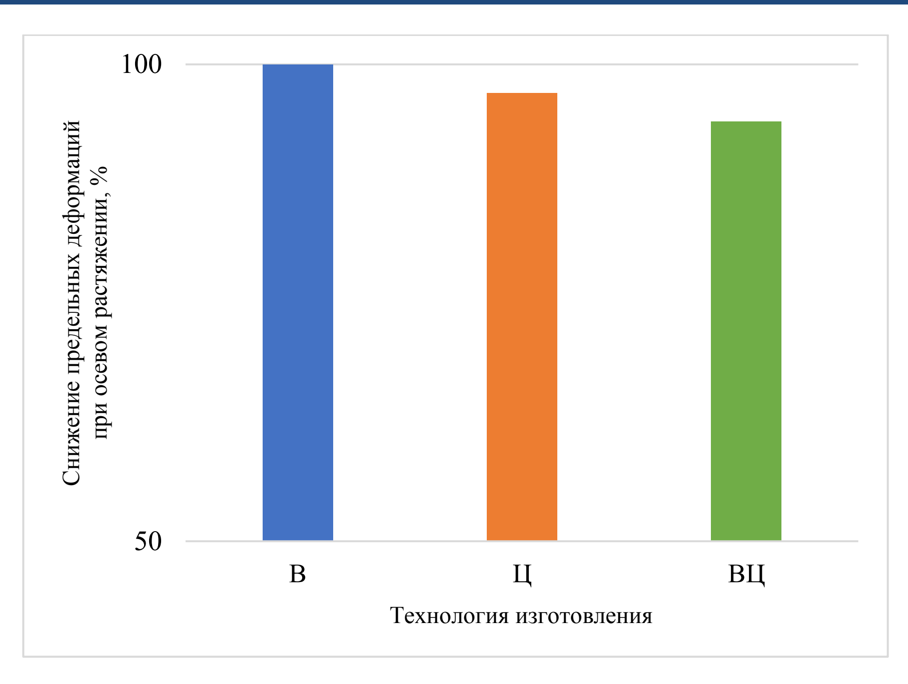


Рис. 9. Зависимость снижения предельных деформаций при осевом растяжении бетона от технологии изготовления

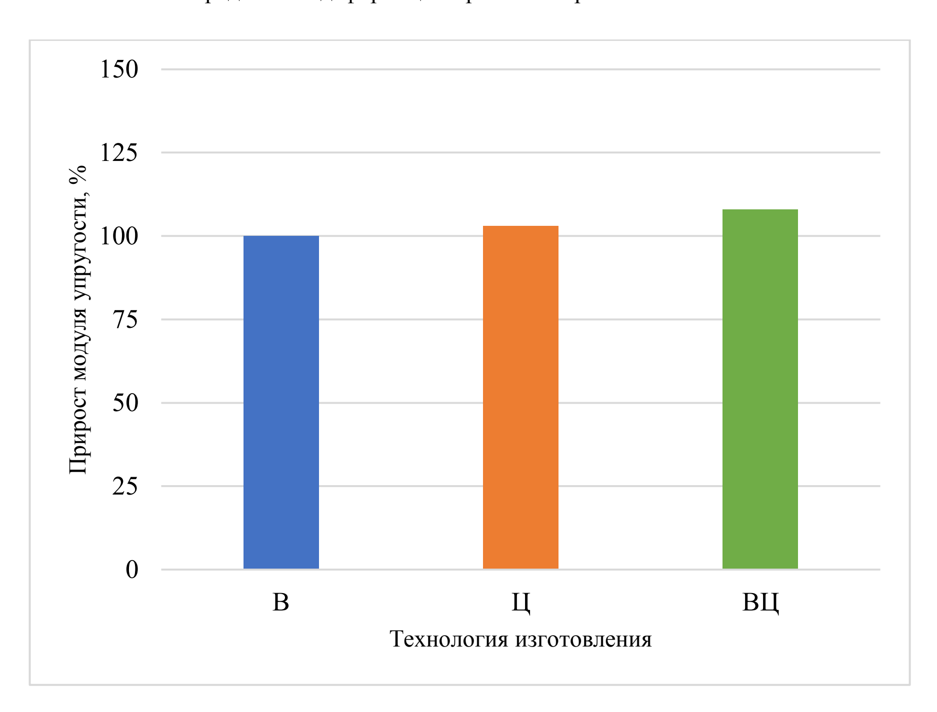


Рис. 10. Влияние технологии изготовления на прирост модуля упругости бетона

Обсуждение и заключения. Влияние технологии изготовления образцов на плотность во всех возрастах было минимальным (около 2 %), поэтому при расчетах показателем «плотность» можно пренебречь.

Виброцентрифугированные бетоны по показателям «прочность при сжатии» и «прочность при растяжении» продемонстрировали более высокие значения, нежели вибрированные и центрифугированные бетоны, а именно: призменная и кубиковая прочности на сжатие — до 22,0 %, прочность на осевое растяжение и растяжение при изгибе — до 27,0 %.

Вследствие упорядочения протекающих процессов гидратации цементного камня увеличение прочностей при сжатии и растяжении бетонов с одновременным вибрированием и центрифугированием, по сравнению с центрифугированными и вибрированными образцами, с возрастом имеет место в исследуемом диапазоне возраста бетона (7 – 180 суток) и находится практически в одинаковых пределах во всех возрастах.

У виброцентрифугированных образцов происходит незначительное снижение (до 6 %) предельных деформаций при осевом сжатии и растяжении. Это соответствует максимальной прочности исследуемых бетонов.

Виброцентрифугированные бетоны, в сравнении с вибрированными и центрифугированными, продемонстрировали наименьшие предельные деформации в любом возрасте.

Показатели «модуль упругости при сжатии E_b» и «модуль упругости при растяжении E_{bt}» во всех возрастах бетона были до 8,0 % больше у виброцентрифугированных бетонов, чем у вибрированных и центрифугированных.

Увеличение прочности, с параллельным снижением предельных деформаций, являлось причиной повышения E_b и E_{bt} у бетонов с одновременным вибрированием и центрифугированием, нежели у бетонов с одним из видов уплотнения. Данный факт влиял на диаграмму «напряжения-деформации» — максимум смещался вверх и влево.

Отличия диаграмм «напряжения-деформации» при сжатии и растяжении, характерные для бетонов с одновременным центрифугированием и вибрированием, во всех возрастах следующие:

— возрастание прочности и уменьшение предельных деформаций (максимум смещается вверх и влево);

— увеличение начального модуля упругости (возрастание в начале координат угла подъема).

Во всех возрастах бетонов была характерна следующая тенденция: увеличение подъемистости восходящей ветви диаграмм, снижение нисходящей ветви у центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов по сравнению с вибрированными.

По данному исследованию целесообразно сделать следующие заключения.

1. Исследования интегральных конструктивных характеристик при сжатии и растяжении рассмотренных видов бетонов различных технологий изготовления в возрастах 7-28 и 180 суток показали:

— характеристики бетонов улучшаются от вибрирования к центрифугированию и от центрифугирования к виброцентрифугированию;

— увеличение во всех возрастах прочностей при сжатии и при растяжении (до 23 %);

— снижение всех предельных деформаций (до 8 %);

— возрастание модулей упругости при различных видах нагружения (до 10 %).

2. Для всех интегральных диаграмм деформирования «напряжения-деформации» бетонов с одновременным вибрированием и центрифугированием свойственно:

— перемещение максимума вверх и влево;

— возрастание в начале координат угла подъема;

— увеличение подъемистости диаграммы в восходящей ветви.

3. Посредством проведенных многочисленных экспериментальных исследований установлено, что одновременное вибрирование и центрифугирование способствует получению бетонов с улучшенными структурой и характеристиками, нежели бетоны, полученные только одним видом воздействия — центрифугированием либо вибрированием.

Библиографический список

1. Ахвердов, И. Н. Основы физики бетона / И. Н. Ахвердов. — Москва: Стройздат, 1981. — 464 с.

2. Баташев, В. М. Исследование прочности и деформации железобетонных элементов кольцевого сечения при изгибе, сжатии и растяжении / В. М. Баташев // Труды института Энергосетьпроект. — 1975. — № 6. — С. 70–86.

3. Подольский, В. И. Железобетонные опоры контактной сети / В. И. Подольский // Конструкция, эксплуатация, диагностика. — Москва : Интекст, 2007. — 152 с.

4. Романенко, Е. Ю. Способы повышения надежности центрифугированных опор контактной сети / Е. Ю. Романенко, М. А. Трубицин // Инженерный вестник Дона : [сайт]. — 2018. № 1(48). — С. 125. — URL : http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4680 (дата обращения : 12.10.2020).

5. Оптимизация параметров центрифугированных изделий кольцевого сечения на стадии уплотнения / Л. Р. Маилян, С. А. Стельмах, А. К. Халюшев [и др.] // Инженерный вестник Дона : [сайт]. — 2018. — № 3(50). — URL : http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5123 (дата обращения : 12.10.2020).

6. Оптимизация технологических параметров для изготовления центрифугированных бетонных образцов кольцевого сечения / Л. Р. Маилян, С. А. Стельмах, А. К. Халюшев [и др.] // Строительство и архитектура. — 2018. — Т. 6, № 1. — С. 1–6. DOI: 10.29039/article_5abc8c1fa5cff2.77063965

7. Mailyan, L. R. Determination and use of hidden strength reserves of centrifuged reinforced constructions by means of calculation and experimental methods / L. Mailyan, S. A. Stel'makh, E. M. Shcherban' [et al.] // Russian Journal of Building Construction and Architecture. — 2020. — No. 1(45). — P. 6–14. DOI: 10.25987/VSTU.2020.45.1.001

8. Stel'makh, S. A. Theoretical and Practical Aspects of the Formation of the Variational Structure of Centrifuged Products from Heavy Concrete / S. A. Stel'makh, E. M. Shcherban', A. I. Shuyskiy [et al.] // Materials Science Forum. — 2018. — Vol. 931. — P. 502–507. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.931.502

9. Tasevski, D. Compressive strength and deformation capacity of concrete under sustained loading and low stress rates / D. Tasevski, M. F. Ruiz, A. Muttoni // Journal of Advanced Concrete Technology. — 2018. — No. 16. — P. 396–415. DOI: 10.3151/jact.16.396

10. Kim, J.-J. Effects of fiber shape and distance on the pullout behavior of steel fibers embedded in ultra-high-performance concrete / J.-J. Kim, D.-Y. Yoo // Cement and Concrete Composites. — 2019. — Vol. 103. — P. 213–223. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2019.05.006

11. Alani, A. H. Durability performance of a novel ultra-high-performance PET green concrete (UHPPGC) / A. H. Alani, N. M. Bunnori, A. T. Noaman [et al.] // Construction and Building Materials. — 2019. — Vol. 209. — P. 395–405. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.088

12. Ferrotto, M. F. Analysis-oriented stress–strain model of CRFP-confined circular concrete columns with applied preload / M. F. Ferrotto, O. Fischer, L. Cavalrti // Materials and Structures. — 2018. — Vol. 51. — Art. 44. Available from: https://link.springer.com/article/10.1617%2Fs11527-018-1169-0 (accessed:12.10.2020).

13. Kirthika, S. K. Durability studies on recycled fine aggregate concrete / S.K. Kirthika, S.K. Singh // Construction and Building Materials. — 2020. — Vol. 250. — Art. 118850. Available from: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118850 (accessed: 12.10.2020).

14. Maruyama, I. Properties of early-age concrete relevant to cracking in massive concrete / I. Maruyama, P. Lura // Cement and Concrete Research. — 2019. — Vol. 123. — Art. 105770. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884619303643?via%3Dihub (accessed : 12.10.2020).

15. Яновская, А. В. Повышение эксплуатационных характеристик бетона свайных фундаментов за счет рецептурно-технологических приемов / А. В. Яновская, Е. М. Щербань, С. А. Стельмах // Молодой исследователь Дона. — 2020. — № 3(24). — С. 110–115.

16. Карнуб, А. Исследование и моделирование многослойного композитного материала с применением базальтовой ткани / А. Карнуб, Д. Б. Нежижимов, К. С. Ширинян // Вестник Донского государственного технического университета. — 2020. — Т. 20, № 1. — С. 5–14. DOI : https://doi.org/10.23947/1992-5980-2020-20-1-5-14

Сдана в редакцию 30.11.2020
Запланирована в номер 08.02.2021

Об авторах:

Маилян Левон Рафаэлович, профессор кафедры «Автомобильные дороги», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ScopusID: 57192662909, ResearcherID: AAO-9095-2020, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0162-2699, lrm@aaanet.ru

Стельмах Сергей Анатольевич, доцент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ScopusID: 57197736878, ResearcherID: AAG-6076-2020, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0364-5504, sergej.stelmax@mail.ru

Щербань Евгений Михайлович, доцент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ScopusID: 57197730793, ResearcherID: AAG-6070-2020, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5376-247X, au-geen@mail.ru

Жеребцов Юрий Владимирович, магистрант кафедры «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6162-0049, yuri.zherebtsov@gmail.com

Аль-Тулаихи Мустафа Мохаммед отман, магистр техники и технологии по направлению «Строительство», Министерство высшего образования и научных исследований (Mohatextradeltd, Ministry of Higher Education & Scientific Research, Baghdad, Iraq. 00964, Al-Mustansyriah, Ирак), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7261-4560, engmustafa95@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

Л. Р. Маилян — формирование основной концепции, одобрение окончательной версии статьи перед ее подачей на публикацию; С. А. Стельмах — проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов; Е. М. Щербань — сбор, анализ и интерпретация материала для статьи; Ю. В. Жеребцов — построение графиков и таблиц для статьи; М. М. Аль-Тулаихи — перевод аннотации и ключевых слов на английский язык, обзор иностранных источников литературы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.